



#2
Priority
KJ
8/9/02
Q68645
10 F1

BREVET D'INVENTION

Jacquet

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION



COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 04 FEV. 2002

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04
Télécopie : 33 (1) 42 93 59 30
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*01

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 250899

23 FEV 2001 REMISE DES PIÈCES DATE 75 INPI PARIS LIEU N° D'ENREGISTREMENT 0102490 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 23 FEV. 2001 PAR L'INPI Vos références pour ce dossier (facultatif) SP 18857 GB F°103343		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE SOCIÉTÉ DE PROTECTION DES INVENTIONS 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS	
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale N° _____ Date ____/____/____ ou demande de certificat d'utilité initiale N° _____ Date ____/____/____			
Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale N° _____ Date ____/____/____			
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) LASER ACCORDABLE DE FACON RAPIDE ET LARGE			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input checked="" type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société anonyme	
N° SIREN		
Code APE-NAF		
Adresse	Rue	54, rue de la Boétie	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE 29 FEV 2001 INPI PARIS LIEU N° D'ENREGISTREMENT 0102490 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI DB 540 W / 250899	
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		SP 18857 GB F°103343	
6 MANDATAIRE			
Nom		DUBOIS-CHABERT	
Prénom		Guy	
Cabinet ou Société		SOCIETE DE PROTECTION DES INVENTIONS	
N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	3, rue du Docteur Lancereaux	
	Code postal et ville	75008	PARIS
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01 53 83 94 00	
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01 45 63 83 33	
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		brevets.patents@spi-brevatome-groupe.fr	
7 INVENTEUR (S)			
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence) :</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) G. DUBOIS-CHABERT CPI 950101		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI C. MARTIN	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Page suite N° 1.../1..

23 FEV 2004 Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES
DATE **75 INPI PARIS**

LIEU

0102490

N° D'ENREGISTREMENT
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 829 W / 260899

V s références pour ce dossier (facultatif)		SP 18857 GB F°103343	
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation	N°
		Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	
		Pays ou organisation	N°
		Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	
		Pays ou organisation	N°
		Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>	
5 DEMANDEUR			
Nom ou dénomination sociale		FRANCE TELECOM	
Prénoms			
Forme juridique		Société anonyme	
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	6, place d'Alleray	
	Code postal et ville	75015	PARIS
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
5 DEMANDEUR			
Nom ou dénomination sociale			
Prénoms			
Forme juridique			
N° SIREN			
Code APE-NAF			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Pays			
Nationalité			
N° de téléphone (facultatif)			
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	
G. DUBOIS CHABERT CPI 950101		C. MARTIN	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI

LASER ACCORDABLE DE FAÇON RAPIDE ET LARGE

DESCRIPTION

5 **Domaine technique**

L'invention se situe dans le domaine des lasers accordables. Il s'agit de lasers dont la longueur d'onde est réglable. L'emploi de tels lasers est particulièrement intéressant en télécommunications optiques par séparation en longueur d'onde multiplexés (WDM, Wavelength division multiplex).

Arrière plan technologique.

Des lasers dont la longueur d'onde peut être réglée sont déjà connus. Dans le document [1] dont la référence est donnée en fin de la présente description, il est décrit un laser accordable à réflecteur de Bragg distribué (DBR distributed Bragg reflector laser). Le dispositif laser comporte une section guide d'onde de Bragg électro-optique sur laquelle une tension de réglage est appliquée permettant d'accorder le laser. Cette section est mise bout à bout avec le laser. Deux mécanismes de réglage de la longueur d'onde ont été observés sur ce laser. Il s'agit du régime basé sur l'injection standard de courant et du régime basé sur un effet de réfraction électro-optique. La gamme totale d'accord de ce laser incluant ces deux régimes est d'environ 120 angströms autour d'une longueur d'onde de 1,56 μm avec 31 modes régulièrement espacés de 3,5 angströms. 25 de ces modes sont accessibles par polarisation directe de la section de Bragg avec une variation de 1,6 volts et 6 autres par une polarisation

inverse de cette même section DBR avec une variation de polarisation inverse de 4 volts. Avec un tel dispositif soumis à un effet électro-optique, il est expliqué qu'il a été possible d'obtenir des temps de commutation entre
5 deux longueurs d'onde de 500 ps, et ceci indépendamment de l'écart entre les longueurs d'onde commutées. Ces temps de commutation augmentent jusqu'à plusieurs nanosecondes dans le cas de laser accordable à réflecteur de Bragg distribué soumis à une injection de
10 porteurs.

Ce type de laser accordable est le plus largement utilisé actuellement. La durée d'obtention de l'accord est cependant limitée par la durée de vie des porteurs dans la section d'accord. Dans le document [1]
15 ci-dessus des durées courtes de 500 picosecondes ont été obtenues par des effets électro-optiques. Cette rapidité relative, se fait aux dépens de la gamme d'accord qui est limitée dans [1] à 25 Angströms.

Un laser accordable utilisant un autre principe
20 est décrit dans le document [2] dont la référence est donnée en fin de la présente description. Ce document décrit un laser dans lequel un accord par pas est obtenu au moyen d'un laser à cavité externe constitué par une fibre comportant un réseau de Bragg
25 échantillonné. Le dispositif laser représenté en figure 1 de ce document comporte une diode laser sous forme d'une cavité de Fabry Pérot. Ce laser est couplé à une fibre optique comportant le réseau de Bragg échantillonné. Ce réseau est tel qu'il y a 8 pics de
30 réflexion. La face avant de la diode, faisant face à la fibre comporte une couche antireflet laissant subsister un coefficient de réflexion de 5.10^{-3} . Le dispositif

laser ainsi réalisé travaille en mode unique pour chacune des longueurs d'onde correspondant à un pic de réflexion du réseau de Bragg de la fibre. Il est expliqué que le fonctionnement en mode unique est possible en raison de la faible réflectivité de la face avant conduisant à une cavité de Fabry-Pérot de finesse faible ayant un intervalle spectral libre (ISL) de 103 Ghz. La condition de gain est remplie lorsqu'un mode résiduel de la cavité de Fabry-Pérot a une longueur d'onde en coïncidence avec l'une des longueurs d'onde correspondant à un pic de réflexion de la fibre. Il est expliqué dans [2] que ce dispositif a permis de réaliser un dispositif laser réglable par pas de 100 Ghz de 1551,09 à 1556,66 nm, soit un espacement entre longueurs d'onde d'accord extrêmes de 6 nm environ. Le changement des longueurs d'onde est obtenu par variation du courant d'injection dans le milieu de gain de la diode laser. La recherche d'une large gamme de longueurs d'onde d'accord conduit à de fortes injections de courant et en conséquence à une variation forte de puissance. Par ailleurs, la variation d'indice obtenue est principalement liée à un échauffement de la structure, l'effet et donc l'accordabilité seront très lents (ms).

25

Brève description de l'invention

Par rapport à l'état de la technique qui vient d'être décrit l'invention vise un laser accordable qui puisse être accordé sur une large gamme de longueurs d'onde, de l'ordre de 100 nm et plus, de façon simple, par action sur une seule grandeur de commande, et suffisamment précise pour obtenir de façon précise

30

l'une quelconque des fréquences de la grille ITU (International Telecommunication Union) avec un espacement entre fréquences consécutives petit de 50 ou 100 GHz. De la sorte un laser accordable selon
5 l'invention peut être accordé sur un grand nombre de longueurs d'onde.

L'invention vise surtout à cumuler les avantages ci-dessus avec des durées d'accord très courtes.

10 Elle vise également un laser accordable ayant une longévité améliorée, une électronique de commande simplifiée. Elle vise également à produire une émission laser de bande étroite d'une grande pureté spectrale et exempte de bruits.

15 Un laser selon l'invention comporte une première cavité de Fabry-Pérot formée par la réunion d'une première partie de couche active, fournissant le gain de ladite première cavité, et de préférence dans un même composant optique d'une seconde partie de
20 couche active utilisée pour réaliser l'accord de phase, par exemple une jonction PIN guide d'onde dont l'indice effectif de groupe est réglable. La première partie de cavité est incluse dans une première section du composant et la seconde partie de cavité est incluse au
25 moins partiellement dans une seconde section du composant. Chacune des première et seconde sections a sa propre commande. La commande de la première section commande le gain de la première cavité. La commande de la seconde section commande la fréquence de résonance
30 de la première cavité. Le réglage de la fréquence de résonance de cette première cavité résulte comme décrit dans le document [1] d'un effet électro-optique. Un

champ électrique est appliqué à la jonction PIN guide d'onde. L'indice effectif de groupe de cette jonction est modifié, en fonction de la valeur du champ électrique appliqué, grâce à un effet électro-optique de Franz-Keldish ou à un effet électro-optique de Stark de confinement quantique. La longueur optique de la première cavité de Fabry-Pérot en deux parties peut ainsi être ajustée pour avoir une possibilité de faire glisser les fréquences de résonance de cette première cavité et ainsi, comme on le verra plus loin, de faire coïncider des fréquences de résonance successives de cette première cavité avec chacune des fréquences prédéterminées correspondant à des pics de réflectivité d'un réflecteur renvoyant vers la première cavité une partie de la lumière émise par la première cavité. La modification de la longueur optique de la seconde section PIN résulte de la modification de l'indice optique induite par l'effet électro-optique. La cavité en deux parties ainsi formée est optiquement couplée à une seconde cavité externe ayant une réflectivité sélective en longueur d'onde grâce à un guide d'ondes à réseau de Bragg échantillonné (Sampled Grating Waveguide, SGW) comme décrit dans le document [2] déjà cité. L'échantillonnage peut être réalisé à partir d'une fonction porte, c'est à dire une fonction formée par une suite d'impulsions rectangulaires auquel cas les valeurs de réflectivité des pics en fonction de la fréquence iront en décroissant selon une enveloppe en forme de Sinus Cardinal à partir d'une fréquence centrale correspondant à la fréquence de Bragg du réseau. L'échantillonnage peut aussi et de préférence être réalisé à partir d'une fonction Sinus Cardinal et

on obtiendra de la sorte des pics de réflectivité ayant la même valeur de réflectivité, selon une enveloppe rectangulaire. Ce dernier mode de réalisation est avantageux dans la mesure où la condition de courant de seuil du laser est la même pour tous les pics de réflectivité, le courant de seuil restant constant, les réglages sont facilités.

Le guide d'ondes à réseau de Bragg échantillonné peut être une fibre (Sampled Fiber Bragg Grating SFBG) ou n'importe quel autre guide d'ondes en particulier les circuits planar en silice ou les dispositifs à base de polymère. Le réseau échantillonné est conçu pour avoir N pics de réflectivité, les valeurs de fréquence des pics de réflectivité du réseau échantillonné s'intercalant chacune, entre deux valeurs de fréquence correspondant aux modes résonants de la première cavité de Fabry-Pérot en deux parties. Les modes sont ajustés sur les pics de réflectivité du réseau échantillonné.

Le principe de fonctionnement d'un tel dispositif comprenant une première cavité de Fabry-Pérot en deux parties à mode de fonctionnement réglable par un effet électro-optique que l'on peut commander, appliqué à l'une des deux parties, couplée à une seconde cavité externe ayant des pics de réflectivité intercalés chacun entre deux valeurs de fréquence correspondant à l'un des modes sur lequel peut être accordée la première cavité de Fabry-Pérot en deux parties est simple. Le mode lasant de ces deux cavités couplées l'une à l'autre est un mode pour lequel la fréquence de résonance de la première cavité est adaptée pour fonctionner sur l'une des fréquences

correspondant à un pic de réflexion de la seconde cavité externe. En changeant les conditions de résonance de la première cavité par action sur une tension de commande déterminant la valeur du champ électrique dans la partie d'accord de phase, un glissement du peigne de résonance de la première cavité provoque un changement de coïncidence entre d'une part, le peigne de résonance de la première cavité et, d'autre part, le peigne de réflectivité de la deuxième cavité. Cette nouvelle coïncidence provoque un saut de mode et le laser travaille sur une nouvelle fréquence de résonance de la première cavité correspondant à un autre pic de réflexion de la seconde cavité.

En résumé l'invention est relative à un laser accordable en longueur d'onde, comprenant une première cavité de Fabry-Pérot fournissant le gain de ladite première cavité, et un réflecteur extérieur à ladite cavité, ledit réflecteur présentant des pics de réflectivité pour un nombre entier N de longueurs d'onde déterminant $N - 1$ intervalles de longueur d'onde bornés chacun par deux valeurs de longueur d'onde, laser accordable en longueur d'onde caractérisé en ce que la première cavité est formée en deux parties, une première partie active incluse dans une première section; couplée à une seconde partie incluse au moins partiellement dans une seconde section active d'accord de phase, chacune des deux sections étant raccordable à une source électrique de commande qui lui est propre, l'indice effectif de groupe de ladite seconde section active étant réglable par effet électro-optique par changement d'une valeur d'une grandeur électrique appliquée à ladite seconde section, permettant un

glissement des modes résonnants de ladite première cavité en sorte qu'une longueur d'onde de résonance de ladite première cavité se situant dans une plage de longueurs d'onde comprise dans l'un desdits $N - 1$ intervalles de longueur d'onde délimités par les pics de réflectivité du réflecteur se déplace vers l'une des deux valeurs bornant ledit intervalle

Pour éviter qu'une même longueur d'onde de fonctionnement du laser puisse être obtenue pour des valeurs différentes de la grandeur électrique de réglage du mode résonnant de la première cavité, il est préférable que le nombre d'intervalles entre deux valeurs consécutives de modes résonnants de la première cavité et le nombre d'intervalles entre deux valeurs consécutives de pic de réflexion du réflecteur extérieur soient premiers entre eux.

Ainsi si P désigne le nombre de modes résonnants de la première cavité, il est préférable que $(P - 1)$ et $(N - 1)$ soient premiers entre eux. De préférence la plage des valeurs des modes résonnants de la première cavité qui couvre la zone des N pics de réflectivité du réflecteur extérieur sera égal à $N - 1$ en sorte qu'il y ait un mode résonnant de la cavité dans chacun des intervalles entre deux valeurs consécutives de longueur d'onde correspondant à un pic de réflectivité du réflecteur extérieur. De la sorte on obtient une translation régulière monotone des coïncidences entre valeurs de longueur d'onde de modes résonnants de la première cavité et valeurs de longueur d'onde de pic de réflectivité du réflecteur extérieur.

Dans le mode préféré de réalisation le réflecteur extérieur est un guide d'onde comportant au

moins un réseau de Bragg échantillonné en sorte que les écarts entre deux valeurs consécutives de longueur d'onde correspondant à un pic de réflectivité sont une fonction de la longueur d'onde du réseau de Bragg et de la période du réseau.

Brève description des dessins

Des exemples de réalisation de la présente invention et des compléments seront ci-après donnés en liaison avec les dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente un mode général de réalisation de l'invention ;

- la figure 2 représente l'imbrication des valeurs de fréquence de résonance de la première cavité et des valeurs de fréquence des pics de réflectivité du réflecteur extérieur ;

- la figure 3 comporte les parties A, B, et C. Elle représente différents modes de réalisation et de couplage entre le guide d'onde à réseau de Bragg échantillonné (SGW) et la première cavité.

- la figure 4 comporte les parties A, B, C, et D. Elle illustre un mode particulier de réalisation d'un réseau échantillonné permettant de réduire la longueur dudit réseau.

Description de modes de réalisation

La figure 1 qui sera maintenant commentée, représente un mode général de réalisation de l'invention.

Un laser à semi conducteur 20, par exemple à ruban enterré comporte une couche active 4 formant une première cavité 2. La cavité est formée en deux parties

couplées 7, 8 situées dans le prolongement l'une de l'autre. La première partie 7 de la couche active 4 est une partie à gain, par exemple à puits quantiques multiples formée par une première épitaxie. La seconde
5 partie 8 de la couche active 4 est une partie guide d'onde présentant un effet par exemple de Franz-Keldysh formée par une seconde épitaxie sélective. Chacune des parties 7, 8 de la couche active est intégrée sur un substrat unique 9 en InP. Le laser 20 est formé en deux
10 sections 5, 6 sur le substrat unique 9. Les deux sections diffèrent l'une de l'autre par la nature de la couche active. La première partie 7 de la couche active 4 constitue la couche active de la première section 5. La seconde partie 8 de la couche active 4 constitue la
15 couche active d'une seconde section 6. Les deux parties 7, 8 de couche active sont enterrées de façon en elle-même connue dans des couches de confinement électrique et optique non référencées sur les figures. Une couche métallique de contact 10 par exemple en AuPt est située
20 au dessus des couches de confinement. Les deux sections 5, 6 sont séparées l'une de l'autre par une gravure 12 effectuée dans la couche de contact 10 et dans une partie des couches de confinement situées au-dessus de la couche active 4. Il en résulte que les deux sections
25 5, 6 peuvent recevoir chacune une commande propre, par exemple sous forme d'un courant injecté dans la première section et sous forme d'une tension appliquée à la seconde section. On peut ainsi changer la longueur optique de la première cavité 2, par une commande de
30 tension appliquée à la seconde section 6, sans influence notable sur la puissance émise par le laser semi-conducteur 20.

La première cavité 2 est couplée à un réflecteur 3 formant avec la première cavité 2, une seconde cavité 11.

Le laser 1 est ainsi formé par le laser à semi conducteur 20 et le réflecteur 3.

Sur la figure 1, le réflecteur est représenté sous forme générale par un trait d'axe 3.

Il sera vu plus loin en liaison avec la figure 3 que le réflecteur 3 se présente sous la forme d'un guide d'onde 30 comportant un réseau réflecteur échantillonné 40 (Sample Grating, SG) constitué par une alternance d'échantillons de réseaux réflecteurs de Bragg distribués, (Distributed Bragg Reflector, DBR) 31, 33... et de sections 32, 34... de Fabry-Pérot, constituées chacune par une partie de guide d'onde uniforme sans réseau de Bragg. Il sera vu plus loin que dans un mode avantageux de réalisation, permettant de réduire la longueur totale de la partie de guide d'onde portant le réseau de Bragg échantillonné plusieurs réseaux échantillonnés sont imbriqués sur une même portion de guide. Dans ce cas les sections 32, 34... sont sans réseaux de Bragg à la même longueur d'onde. L'ensemble du réseau échantillonné est destiné à produire un peigne de pics de réflectivité, chaque pic correspondant à une longueur d'onde sur laquelle le laser 1 peut être accordé.

Selon un premier mode de réalisation, la première cavité 2 est formée entre une face arrière 13' réfléchissante de la section active 4 et la face avant 13 de cette même section active qui porte alors un miroir semi-réfléchissant. La première cavité 2 est dans ce mode de réalisation formée entre la face

extérieure 13' de la première section 5 et la face
extérieure 13 de la seconde section 6. Dans ce premier
mode de réalisation, le coefficient de réflexion R2
d'une entrée 23, par exemple une lentille, de la fibre
5 30 doit être aussi voisin de 0 que possible de façon à
éviter la formation d'une troisième cavité. La
séparation entre la première cavité 2 du laser 20 à
semi-conducteur et l'entrée 23 de la fibre 30 peut être
de l'ordre de plusieurs dizaines de microns. Il
10 convient de tenir compte de cette distance dans le
calcul de l'écart de phase de l'onde réfléchie par le
réflecteur.

Selon un second mode de réalisation la cavité 2
pourra être avantageusement définie entre la face
15 arrière 13' réfléchissante et l'entrée 23 de la fibre
ou guide d'onde 30. Dans ce cas l'entrée 23, par
exemple une lentille, comportera une face d'entrée sous
forme d'un miroir semi-réfléchissant. Dans ce cas, la
face avant 13 de la couche active 4 devra être de
20 réflectivité aussi faible que possible pour éviter les
réflexions parasites et ainsi créer une cavité
supplémentaire. Une telle réflectivité faible peut être
obtenue par dépôt d'un diélectrique anti-réfléchissant
ou par inclinaison du guide optique formé par la couche
25 active 4 par rapport à la direction orthogonale du plan
de clivage de la facette 13, ou par combinaison des
deux solutions. Dans ce mode de réalisation la première
cavité 2 est formée entre la première face extérieure
13' de la première section 5 et la face d'entrée 23 du
30 guide d'onde 30 formant réflecteur 3.

La figure 2 représente l'espacement et
l'imbrication des longueurs d'onde de fonctionnement de

la première cavité 2, en traits pointillés et des valeurs de longueurs d'onde correspondant aux différents pics de réflectivité du guide d'onde 30, en traits pleins. Les longueurs d'onde sont portées en abscisse, les valeurs relatives de réflectivité des pics de réflectivité sont portées en ordonnée. Les valeurs des longueurs d'onde des pics de réflectivité sont alternées avec des valeurs de longueurs d'onde correspondant à des modes résonants de la première cavité 2, en sorte qu'une valeur de longueur d'onde correspondant à un mode de fonctionnement de la première cavité 2 est présente sur chaque intervalle entre deux valeurs consécutives de longueur d'onde de pic de réflectivité du guide 30.

Ainsi par changement de la valeur de tension de commande appliquée à la seconde section 6, on change l'indice optique de la seconde partie 8 de la couche active 4, et donc sa longueur optique. Par glissement du peigne de résonance de la première cavité, on peut ainsi passer d'un premier mode de fonctionnement dans lequel le laser 1 émet sur l'une des longueurs d'onde correspondant à un premier pic de réflectivité du guide d'onde 30 à un second mode de fonctionnement dans lequel le laser 1 émet sur une autre des longueurs d'onde correspondant à un second pic de réflectivité du guide d'onde 30.

Des indications seront données ci-après sur les ordres de grandeur à prendre en considération pour la réalisation de l'invention.

Si L_1 et n_1 désignent respectivement la longueur et l'indice effectif de groupe de la première partie 7 de la couche active 4 et L_2 et n_2 , la longueur

et l'indice effectif de groupe de la seconde partie 8 de cette couche active, l'espacement ou pas des modes de fonctionnement de la première cavité 2 est donné par la formule

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / 2(n_1 L_1 + n_2 L_2) \quad (1)$$

dans laquelle $\Delta\lambda$ représente l'espacement entre deux valeurs consécutives de longueur d'onde de résonance de la cavité 2.

Pour des valeurs de n_1 et n_2 voisines de 3,2, et pour les longueurs d'onde comprises dans la grille ITU, cela conduit pour 40 canaux avec un espacement de 100 GHz entre canaux consécutifs à une cavité 2 dont la longueur $L_1 + L_2$ est voisine de 460 μm . Avec un espacement de 50 GHz cette longueur serait d'environ 920 μm .

La relation entre la variation d'indice effectif de groupe Δn_2 , la longueur d'onde λ et la longueur L_2 de la seconde partie 8 de la couche active 4 est donnée par la formule

$$\Delta n_2 = \lambda / 2 L_2 \quad (2)$$

Si par exemple la variation que l'on peut obtenir par un effet Franz-Keldish est de $\Delta n_2 = 5 \cdot 10^{-3}$ cela conduit à une longueur L_2 pour la section 6 de phase de 150 μm . Pour couvrir 40 canaux avec un espacement de 100 GHz entre canaux consécutifs, ou de 50 GHz, la section 5 active doit alors avoir une longueur L_1 de 300 ou 770 μm respectivement.

De telles longueurs pour L_1 et L_2 sont compatibles avec une forte puissance d'émission et une largeur de bande étroite. Il est possible cependant d'améliorer la structure verticale des couches

composant la seconde section pour avoir une variation d'indice plus forte, ce qui permet de réduire la longueur L2 et corrélativement d'augmenter la longueur L1. On peut alors obtenir une puissance d'émission plus forte. Pour obtenir un meilleur contrôle ou une sélectivité modale plus grande de la première cavité 2, on peut avoir intérêt à réduire le nombre de longueurs d'onde de résonance de la cavité de façon à avoir un espacement plus grand entre les longueurs d'onde de résonance de la cavité ne conduisant pas à un mode lasant par correspondance avec l'une des longueurs d'onde correspondant à un pic de réflectivité du réflecteur 3 couplé. La réduction du nombre des longueurs d'onde de résonance sera obtenue par une réduction de la longueur L1 + L2 de la première cavité.

Le nombre de fréquences de résonance de la cavité 2 de Fabry-Pérot compris dans la zone d'utilisation de cette cavité 2 est déterminé par la longueur L1 + L2 de la cavité 2. La précision sur l'espacement entre canaux consécutifs dépend de la précision au niveau de l'étape de clivage des faces transversales de la cavité. Cette précision est en général de 5 μm en plus ou en moins par rapport à la longueur souhaitée. La variation $d\Delta\lambda$ de l'espacement entre longueurs d'onde consécutives de résonance en fonction de la variation $d(L1 + L2)$ de la longueur totale de la cavité 2 peut s'exprimer par

$$d\Delta\lambda = 2 \cdot d(L1 + L2) (\Delta\lambda/\lambda)^2 \quad (3)$$

Ainsi pour un espacement de 50 GHz entre canaux consécutifs la précision de l'espacement des fréquences de résonance de la cavité 2 est inférieure à 1 GHz. Un

écart aussi petit peut être aisément compensé par action sur la commande de la section 6 de contrôle de phase.

Cela a pour conséquence qu'avec l'invention il n'est pas nécessaire d'avoir un Vé dans le procédé de clivage. De façon en elle-même connue, le Vé est un procédé technologique permettant d'améliorer la précision de clivage de + ou - 5 μm à + ou - 1 μm .

Il convient également de remarquer que le contrôle des modes résonants de la seconde cavité formée avec le guide d'onde 30 extérieur, dépend de la phase introduite dans l'onde de retour par le réflecteur 3. Les différences de phase introduites pour chaque pic de réflectivité sont identiques entre elles et égales par exemple à $\pi/2$.

Cela signifie que le mode lasant peut être contrôlé de façon identique pour chacun des canaux, par exemple en introduisant un retard de phase, par exemple sous forme d'un déphaseur contrôlé, au début du guide d'onde 30. Un tel déphaseur contrôlé est représenté de façon symbolique figure 1 par un carré 14 au début du guide d'onde 30. Comme signalé plus haut, la séparation entre la première cavité 2 du laser dans le premier mode de réalisation et l'entrée de la fibre 30, peut être de l'ordre de plusieurs dizaines de microns. Il convient de tenir compte de cette distance dans le calcul de l'écart de phase de l'onde réfléchie par le réflecteur 3. Dans le second mode de réalisation dans lequel la cavité 2 est définie entre la face arrière 13' du laser à semi-conducteur 20 et l'entrée 23 du guide d'onde 30 on n'aura pas de déphasage supplémentaire à introduire dans les calculs.

Des exemples de modes particuliers de réalisation de guides d'onde 30, de formation de la seconde cavité 11 et de réseaux échantillonnés 40 seront maintenant commentés en liaison avec la figure 3. Sur cette figure les éléments déjà commentés en liaison avec la figure 1 ne seront pas décrits à nouveau. La figure 3 comporte trois parties A, B, et C.

Sur la partie A le réseau échantillonné 40 de réseaux réflecteurs 31, 33 ... de Bragg distribués (SG DBR) est réalisé sur un guide d'onde 30 constitué par une fibre optique. Le coefficient de réflexion R1 de la face clivée 13 de la couche active 4 faisant face à la fibre optique 30 doit être adapté pour les faibles courants de seuils, les fortes puissances et le fonctionnement en mode singulier.

Sur la figure 3 partie B, le guide d'onde 30 est un guide d'onde polymère ou silice. Il est possible dans ce cas de monter le laser à semi conducteur 20 et le guide 30 sur un substrat commun 15, par exemple en silicium en utilisant une technique d'auto alignement entre la fibre et le laser à semi conducteur.

Sur la figure 3 partie C, le guide d'onde 30 est un guide d'onde en InP qui peut être réalisé sur un substrat 9' commun au laser à semi conducteur 20 et au guide 30.

La séparation de la cavité 2 et du guide 30 peut être réalisée dans les cas B et C par une gravure 16 formant le miroir de la face 13 située en regard de l'entrée du guide 30.

Des indications sur des modes de réalisation du réseau réflecteur échantillonné 40 seront maintenant données en liaison avec la figure 4. Comme déjà indiqué

plus haut, le réseau réflecteur échantillonné 40
 (Sample Grating, SG) est constitué par une alternance
 d'échantillons de réseaux réflecteurs de Bragg
 distribués, (Distributed Bragg Reflector, DBR) 31,
 5 33... et de sections 32, 34... de Fabry-Pérot,
 constituées chacune par une partie de guide d'onde sans
 échantillons du réseau de Bragg. La longueur Λ_s d'une
 période d'échantillonnage formée de l'addition de la
 longueur d'un échantillon de réseau réflecteur de Bragg
 10 et de la longueur d'une cavité de Fabry-Pérot dépend de
 l'espacement souhaité pour les fréquences correspondant
 à des pics de réflectivité. Pour un guide d'onde par
 exemple en silice ou en polymère ayant un indice n de
 1,5 cette période sera de 1 mm ou 2 mm pour des
 15 espacements de 100 ou 50 GHz respectivement. La
 relation entre l'espacement des longueurs d'onde des
 pics de réflectivité $\Delta\lambda_{\text{pic}}$, la longueur d'onde du pic
 λ , l'indice n du guide et la longueur Λ_s de la période
 d'échantillonnage est donnée par la formule

$$20 \quad \Delta\lambda_{\text{pic}} = \lambda^2 / 2n.\Lambda_s \quad (4)$$

Le nombre de période d'échantillonnage dépend
 de la valeur de réflectivité souhaitée. Il est de 10 à
 15 en fonction des coefficients de couplage des réseaux
 de Bragg 31, 33 (valeur de Kappa) que l'on peut obtenir
 25 et de la valeur du coefficient de réflexion à
 atteindre. Cela conduit à des longueurs de réseau
 échantillonné de plusieurs mm. Pour un nombre de
 périodes compris entre 10 et 15, une valeur de n proche
 de 1,5 et un $\Delta\lambda_{\text{pic}}$ de l'ordre 100 GHz correspondant à
 30 une différence de longueur d'onde de 1 nanomètre, le Λ_s
 est voisin de 800 μm . Ainsi, pour un réseau composé de

10 à 15 périodes, la longueur totale est de l'ordre de 8 à 12 mm. Pour 50 GHz, cette longueur totale est doublée soit 16 à 24 mm.

5 De façon avantageuse le réseau peut avoir un pas qui n'est pas constant sur la période d'échantillonnage (réseau chirpé). Ce type de réseau "chirpé" peut être très utile pour la stabilisation modale du laser comme indiqué dans le document de référence [3] cité en fin de la description.

10 Pour des facilités de fabrication il est préférable de réaliser le réseau échantillonné sur une fibre comme représenté figure 3 partie A ou sur un guide d'onde en silice ou en polymère comme représenté figure 3 partie B. Dans le cas de la fibre ou du guide
15 d'onde en silice ou en polymère les échantillons de réseaux de Bragg 31, 33 peuvent être réalisés par insolation directe. En particulier dans le cas des fibres ou guides en silice, en plus des avantages bien connus de ces guides, faibles pertes, technologies bien
20 maîtrisées, fiabilité, il est à noter que l'indice optique de ces guides peut être ajusté de façon continue par une procédure d'illumination uniforme du guide. Cet ajustement de la valeur de l'indice n permet un réglage fin de l'espacement des longueurs d'onde des
25 pics de réflectivité $\Delta\lambda_{pic}$.

Le réseau échantillonné peut aussi être intégré sur guide d'onde en InP comme représenté figure 3 partie C. On note cependant que les longueurs nécessaires (plusieurs mm) pour réaliser ces réseaux
30 peuvent conduire à de réelles difficultés de réalisation pratique. Afin de réduire cette longueur on

peut employer une astuce qui sera décrite ci-après en liaison avec la figure 4.

Il a été vu plus haut (relation 4) que la période Λ_s du réseau échantillonné 40 constitué par une alternance d'échantillons de réseaux réflecteurs distribués 31, 33 de Bragg et de cavités de Fabry-Pérot est inversement proportionnelle à l'espacement des longueurs d'onde correspondant à la période des pics de réflectivité. On a représenté en figure 4 partie A un guide d'onde pour lequel par exemple le réseau échantillonné 40 a une période Λ_s correspondant à un espacement de 100 GHz pour les pics de réflectivité. Cet espacement est relatif à une longueur d'onde du réseau λ_b comme représenté en figure 4 partie B.

Dans le mode de réalisation représenté figure 4 parties C et D des échantillons 31, 33 d'un premier réseau échantillonné réflecteur distribués de Bragg correspondant à une première longueur d'onde de Bragg λ_{B1} sont alternées à l'exception éventuellement d'un premier ou d'un dernier avec des échantillons 31' 33' d'un second réseau échantillonné réflecteur distribué de Bragg correspondant à une seconde longueur d'onde de Bragg λ_{B2} différente de λ_{B1} . Dans le mode de réalisation représenté figure 4 partie C les échantillons du second réseau se trouvent au centre des espaces entre deux échantillons du premier réseau réflecteur distribué de Bragg. On obtient ainsi sur une même longueur de guide d'onde un espacement deux fois plus petit entre valeurs consécutives de longueur d'onde correspondant à des pics de réflectivité du guide d'onde échantillonné. Ainsi par exemple avec des longueurs d'onde centrales

λb_1 et λb_2 espacées entre elles de 50 GHz on peut obtenir des pics de réflectivité espacés entre eux de 50 GHz alors que chacun des deux réseaux correspond à un espacement entre pics consécutifs de 100 GHz.

5 Le même principe peut être répété plusieurs fois et ainsi la longueur du réflecteur échantillonné 40 peut être divisé par deux plusieurs fois.

Par exemple pour un système avec un espacement de 100 GHz entre les fréquences consécutives des pics
10 de réflectivité, tracé dans un guide d'onde InP ayant un indice optique de 3,2, si quatre réseaux sont tracés la période d'échantillonnage est d'environ 120 μm . Cela conduit à un réflecteur échantillonné de 1,2 mm pour un réseau de 10 périodes, ce qui devient réalisable sur un
15 guide d'onde InP. L'un des avantages de ce mode de réalisation du réseau échantillonné 40 est que l'on peut réaliser des réseaux réflecteurs distribués de Bragg ayant des coefficients de couplage supérieur à 100 ou même 200 cm^{-1} puisque l'on peut alors augmenter
20 le nombre de périodes.

Dans le mode de réalisation de réseaux échantillonnés qui vient d'être décrit, on a utilisé la relation 4 en conservant pour AS une valeur constante et en faisant varier la longueur d'onde de chacun des
25 réseaux échantillonnés de façon à avoir plusieurs réseaux échantillonnés imbriqués les uns dans les autres. L'intérêt de cette formule est que le AS étant constant, quel que soit le nombre de périodes du réseau échantillonné, les réseaux successifs de Bragg seront
30 bien distincts les uns des autres et toujours à la même distance les uns des autres. Si le nombre de périodes

du réseau échantillonné est faible, on peut non seulement jouer sur la longueur d'onde λ de chacun des réseaux imbriqués, mais aussi sur la périodicité AS de façon à avoir plusieurs réseaux échantillonnés
5 imbriqués les uns dans les autres. Cette imbrication, avec une valeur différente pour AS, pourra être réalisée pour autant que les tracés des réseaux ne soient pas superposés en certains points.

Comme déjà expliqué en liaison avec la figure 3
10 partie C, la face réfléchissante 13 de la cavité 2 de Fabry-Perot peut être gravée directement dans le semi conducteur.

Dans un laser selon l'invention la simplicité de la commande d'accord et de l'électronique qui lui
15 est associée provient du fait que l'accord est obtenu par action sur une seule grandeur de commande, la tension de commande appliquée à la seconde section 6. La rapidité de réalisation des accords est dû à l'effet conjugué de l'emploi d'un effet électro-optique
20 intrinsèquement très rapide et à la simplicité de l'électronique de commande. Dans les lasers accordable comme celui décrit en [2] dans lequel le changement de la fréquence d'accord est obtenu par injection de porteurs, il est nécessaire d'agir sur au moins deux
25 courants de façon synchronisée.

Les documents cités [1], [2] et [3] en référence sont :

- [1] F. Delorme et Al, IEE Photonics Technology Letters, Vol. 17, N° 3, P.269, Mars 1995.
- 30 [2] J. F. Lemieux, M. Tetu, Electronic Letters, Vol 35, n° 11, P. 904, Mai 1999.

[3] : P.A. Morton et al, "Stable and single mode hybrid laser with high power and narrow linewidth", Applied Physics Letters, Vol 64, n° 20; 16 May 94.

REVENDICATIONS

1. Laser (1) accordable en longueur d'onde, comprenant une première cavité (2) de Fabry-Pérot et un
5 réflecteur (3) extérieur à ladite cavité (2) ledit réflecteur (3) présentant des pics de réflectivité pour un nombre entier N de longueurs d'onde déterminant $N - 1$ intervalles de longueur d'onde bornés chacun par deux valeurs de longueur d'onde, laser (1) accordable en
10 longueur d'onde caractérisé en ce que la première cavité (2) est formée en deux parties (7, 8), une première partie (7) incluse dans une première section (5) active, couplée à une seconde partie (8) d'accord de phase incluse au moins partiellement dans ladite
15 seconde section active (6) d'accord de phase, chacune des deux sections (5, 6) étant raccordable à une source électrique qui lui est propre, l'indice effectif de groupe de ladite seconde section active (6) d'accord de phase étant réglable par effet électro-optique par
20 changement d'une valeur d'une grandeur électrique appliquée à ladite seconde section active (6), permettant un glissement des modes résonnants de ladite première cavité (2) en sorte qu'une longueur d'onde de résonance de ladite première cavité (2) se situant dans
25 une plage de longueurs d'onde comprise dans l'un desdits $N - 1$ intervalles de longueur d'onde délimités par les pics de réflectivité du réflecteur (3) se déplace vers l'une des deux valeurs bornant ledit intervalle.

30 2. Laser (1) accordable en longueur d'onde selon la revendication 1 caractérisé en ce que le réflecteur (3) extérieur est un guide d'onde (30)

comportant au moins un réseau (40) réflecteur de Bragg échantillonné optiquement couplé à la première cavité (2).

3. Laser (1) accordable en longueur d'onde
5 selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que un nombre d'intervalles $P - 1$ entre longueurs d'onde consécutives des modes résonnants de la première cavité (2) est premier avec le nombre $N - 1$ d'intervalles entre valeurs consécutives de longueurs
10 d'onde correspondant à des pics de réflectivité du réflecteur extérieur (3).

4. Laser (1) accordable en longueur d'onde selon la revendications 3 caractérisé en ce que le nombre de modes résonnants de la première cavité est
15 égal à $N - 2$.

5. Laser (1) accordable en longueur d'onde selon l'une des revendications 2 à 4 caractérisé en ce que le guide d'onde (30) comporte plusieurs réseaux (40) réflecteurs échantillonnés de Bragg, chaque
20 échantillon (31, 33) d'un premier réseau à l'exception éventuellement d'un premier ou d'un dernier se trouvant entre deux échantillons (31' 33') d'un second réseau.

6. Laser (1) accordable en longueur d'onde selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce
25 que la première cavité (2) est formée entre une première face extérieure (13') de la première section (5) et une face extérieure (13) de la seconde section (6).

7. Laser (1) accordable en longueur d'onde
30 selon l'une des revendications 2 à 5 caractérisé en ce que la première cavité (2) est formée entre une première face extérieure (13') de la première section

(5) et une face d'entrée (23) du guide d'onde (30) formant réflecteur (3).

8. Laser (1) accordable en longueur d'onde selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce
5 que la variation de l'indice effectif de groupe de la seconde section (6) d'accord de phase est obtenu par effet de Franz Keldysh.

9. Laser (1) accordable en longueur d'onde selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce
10 que la variation de l'indice effectif de groupe de la seconde section (6) d'accord de phase est obtenu par effet électro optique de Stark de confinement quantique.

10. Laser (1) accordable en longueur d'onde
15 selon l'une des revendications 2 à 9 caractérisé en ce que un réseau échantillonné de Bragg du guide d'onde (30) a un pas qui n'est pas constant.

1 / 3

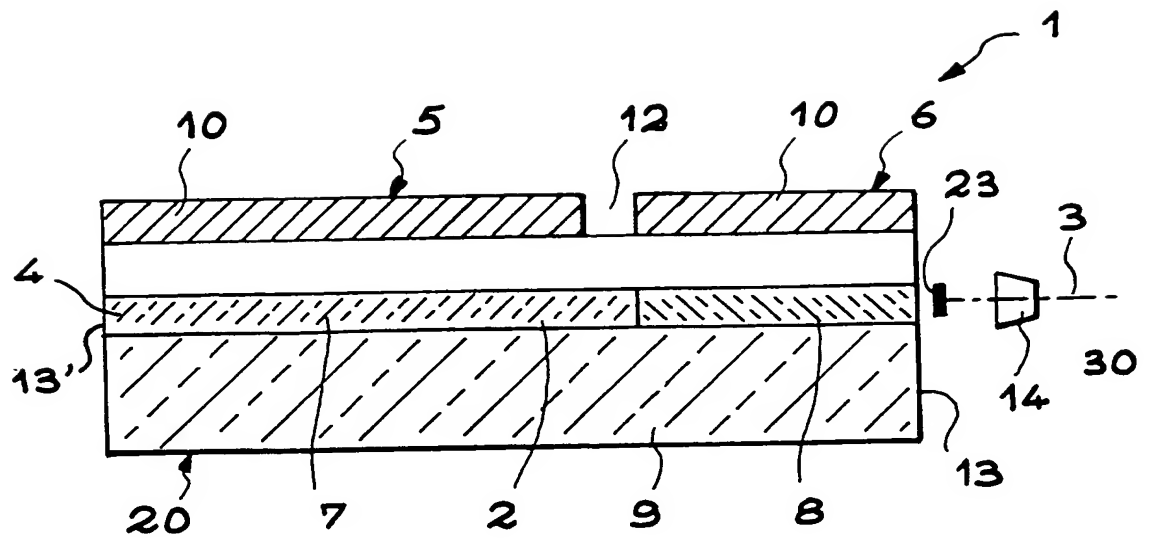


FIG. 1

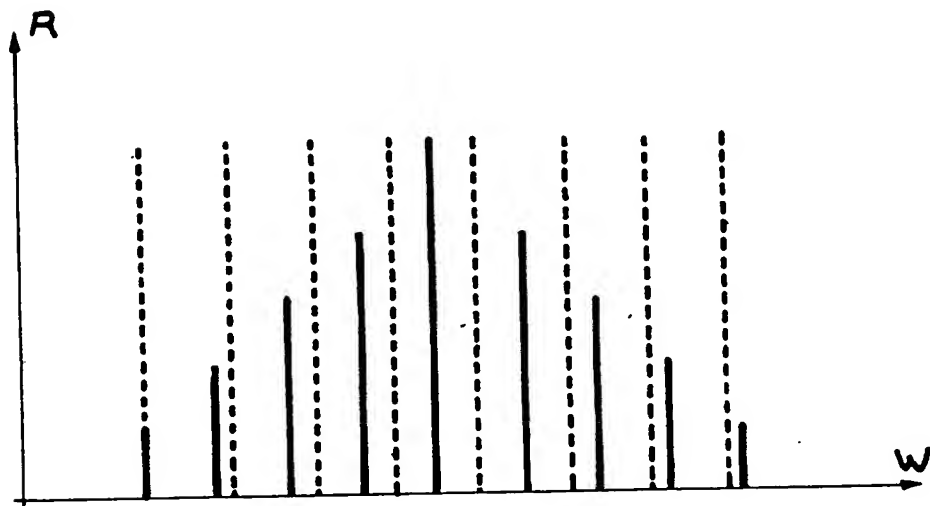


FIG. 2

2 / 3

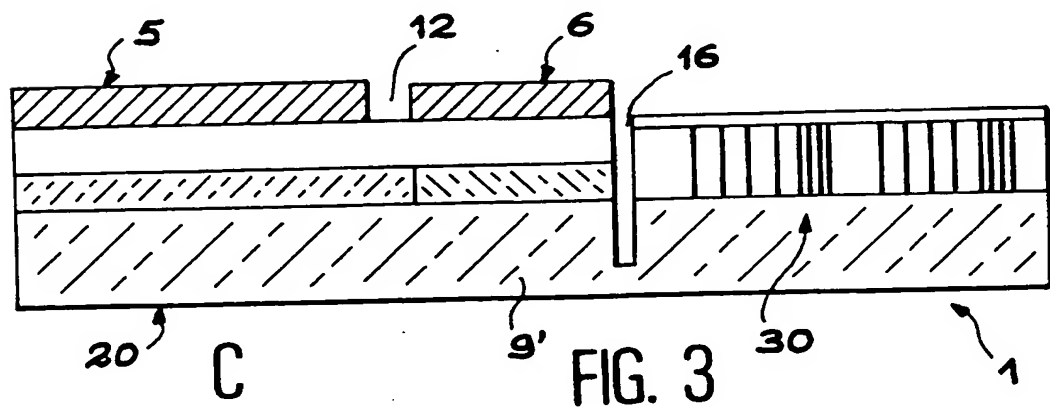
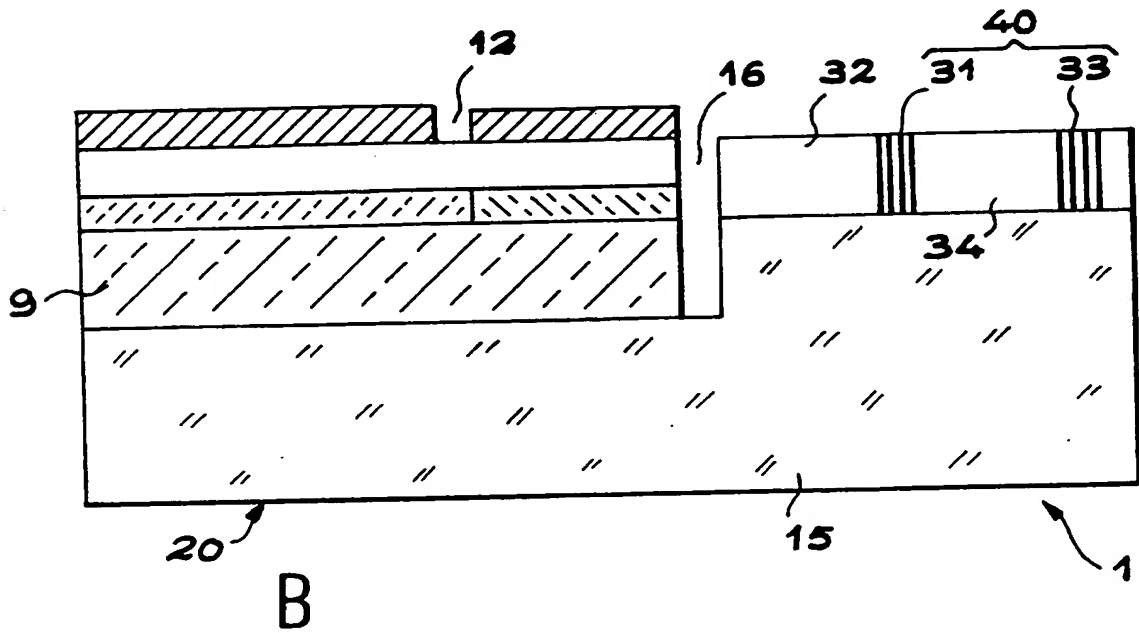
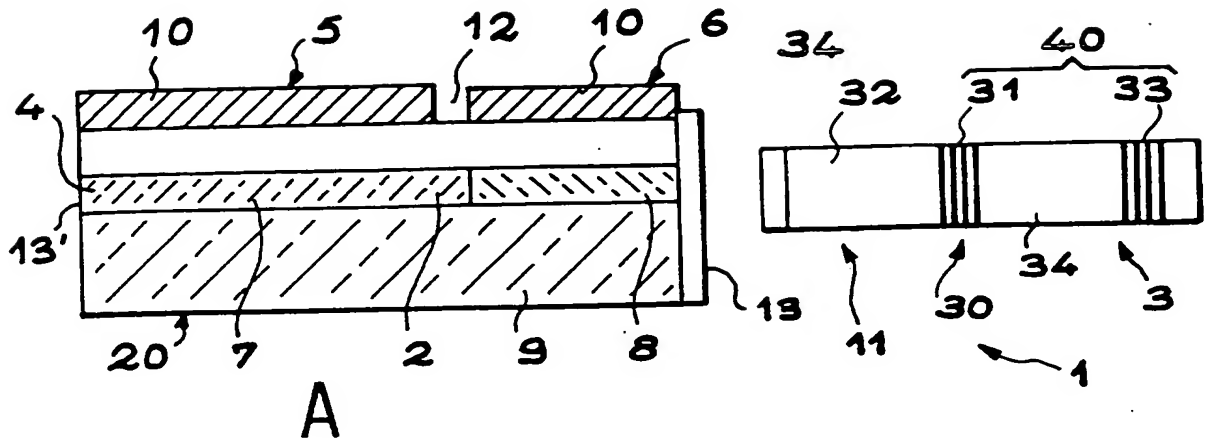


FIG. 3

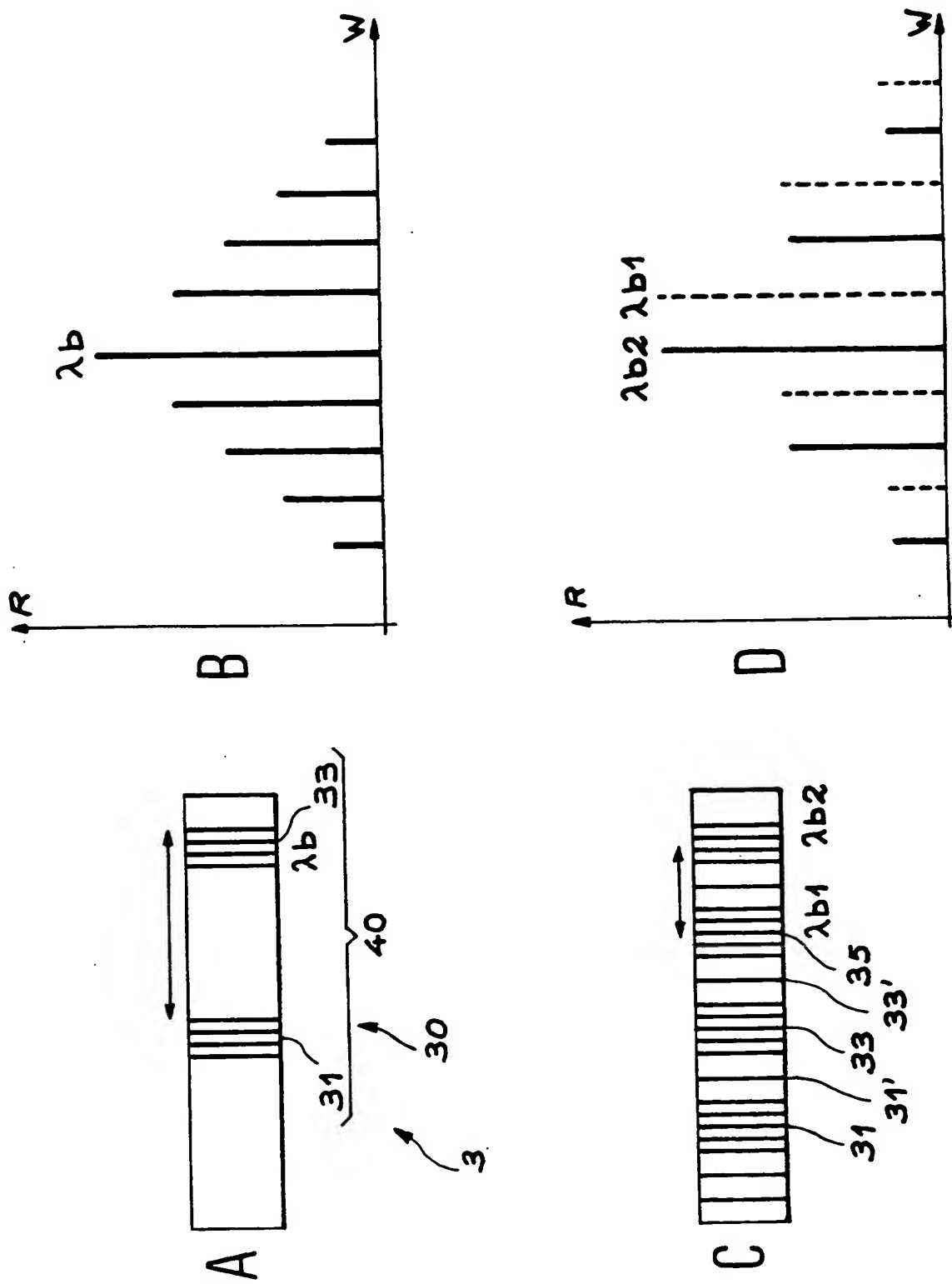


FIG. 4



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11 235°02

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		SP 18857 GB	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0102490	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
LASER ACCORDABLE DE FACON RAPIDE ET LARGE			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
G. DUBOIS-CHABERT			
c/o SOCIETE DE PROTECTION DES INVENTIONS			
3, rue du Docteur Lancereaux			
75008 PARIS			
FRANCE			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		JACQUET	
Prénoms		Joël	
Adresse	Rue	33, rue de Hurepoix	
	Code postal et ville	91470	LIMOURS FRANCE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (N m et qualité du signataire)			
Paris, le 23 février 2001			
D. DUBOIS-CHABERT CPI 950101			

THIS PAGE BLANK (USPTO)